

2.1. Структурний аналіз механізму

Рухомість механізму

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 - 0 = 1$$

де $n = 7$ – число рухомих ланок (1 – кривошип АВ, 2,4,6 – шатуни ВF, АД. СЕ); $p_5 = 10$ – число кінематичних пар 5го класу; $p_4 = 0$ – число кінематичних пар 4го класу.

Структурна формула механізму $I_1(0,1) + II_2(2,3) + II_2(4,5) + II_2(6,7)$

Механізм II класу, 2го порядку

2.2. Побудова планів механізму та циклограма руху.

Визначаю розміри ланок механізму

$$l_{2,4,6} = \lambda_1 \cdot l_1 = 3,5 \cdot 50 = 175 \text{ мм};$$

$$AS_{2,4,6} = \lambda_2 \cdot l_{2,4,6} = 0,4 \cdot 175 = 70 \text{ мм}.$$

Масштабний коефіцієнт довжини $\mu_l = \frac{l_1}{l_{01A}} = \frac{0,05}{50} = 0,001 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$.

Визначаю довжину ланок на малюнку, та занесу їх до таблиці 2.1

Таблиця 2.1. Розміри ланок механізму

Ланка	l_1	$l_{2,4,6}$	$AS_{2,4,6}$
Розмір, м	0,05	0,175	0,07
Розмір, мм	50	175	70

Циклограму руху складаю у вигляді таблиці 2.2

Таблиця 2.2. Циклограма руху

Кут повороту φ	0 - 180°		180 - 360°	
Циліндр Д	Впуск - Стиск		Горіння - Випуск	
Циліндр F	Випуск	Впуск - Стиск		Горіння
Циліндр Е	Впуск	Горіння - Випуск		Випуск

2.3. Розрахунок планів швидкостей

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Фактичні швидкості знаходжу за рівняння

$$V_A = V_B = V_C = \omega_1 \cdot l_{AO1} = 125,6 * 0,05 = 6,28 \frac{м}{с}$$

$$\omega_1 = \frac{\pi * n_1}{30} = (3,14 * 1200) / 30 = 125,6 \text{ с}^{-1}$$

Масштабний коефіцієнт планів швидкостей

$$\mu_V = \frac{V_A}{P_V a} = \frac{6,28}{62,8} = 0,1 \frac{м}{с \cdot мм}$$

Швидкості точок Д, Е та F знаходжу за векторними рівняннями

$$\overline{V_D}_{\text{Пу-у}} = \overline{V_A}_{\oplus} + \overline{V_{DA}}_{\perp DA}; \quad \overline{V_F}_{\text{Пу-у}} = \overline{V_B}_{\oplus} + \overline{V_{FB}}_{\perp FB}; \quad \overline{V_E}_{\text{Пу-у}} = \overline{V_C}_{\oplus} + \overline{V_{EC}}_{\perp EC}$$

Швидкості центрів мас шатунів визначаю за теоремою подібності.

Визначення кутових швидкостей шатунів для заданого положення

$$\omega_{AD} = \frac{V_{AD}}{l_{AD}} = \frac{1,1}{0,175} = 6,29 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_{BF} = \frac{V_{BF}}{l_{BF}} = \frac{6,0}{0,175} = 34,29 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_{CE} = \frac{V_{CE}}{l_{CE}} = \frac{5,0}{0,175} = 28,57 \text{ с}^{-1}$$

Визначу значення швидкостей за формулами та занесу їх до таблиці 2.3.

$$V_D = \overline{P_V \delta} \cdot \mu_V = 58 * 0,1 = 5,8 \text{ м/с},$$

$$V_{S2} = \overline{P_V S_2} \cdot \mu_V = 60 * 0,1 = 6,0 \text{ м/с},$$

$$V_E = \overline{P_V e} \cdot \mu_V = 28 * 0,1 = 2,8 \text{ м/с},$$

$$V_{AD} = \overline{a \delta} \cdot \mu_V = 11 * 0,1 = 1,1 \text{ м/с},$$

$$V_{CE} = \overline{c e} \cdot \mu_V = 60 * 0,1 = 6,0 \text{ м/с}.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Швидкості точок механізму

н
и
ε

кд
л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

л
л
л

φ	Од. вим	0,12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	$\Phi=100$
$V_A=V_B=V_C$	м/с	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28
V_F	м/с	4,5	2,1	0	2,2	4,7	6,28	6,28	3,7	6,2	3,9	6,28	6,28	3,0
V_D	м/с	0	4,0	6,28	6,28	4,7	2,2	0	2,2	0	6,28	6,28	4,3	5,8
V_E	м/с	4,5	6,28	6,28	3,9	0	3,9	6,28	6,28	0	2,4	0	2,3	2,8
V_{S4}	м/с	5,4	6,28	6,28	4,6	2,5	4,7	6,28	6,28	5,4	4,7	2,5	4,3	4,0
V_{S6}	м/с	5,3	4,2	2,5	4,2	5,5	6,28	6,28	4,6	2,5	4,6	5,9	6,28	4,5
V_{S2}	мм	2,5	4,7	6,28	6,28	5,5	4,2	2,5	4,2	2,5	6,28	5,9	4,7	6,0
V_{DA}	м/с	0	5,5	3,2	0	3,2	5,5	0	5,5	3,2	0	3,2	5,5	1,1
V_{EC}	м/с	3,1	0	3,1	5,5	0	5,5	3,2	0	3,2	5,5	0	5,5	6,0
V_{FB}	м/с	3,1	5,5	0	5,5	3,2	0	3,2	5,5	0	5,5	3,2	0	5,0
ω_2	с ⁻¹	0	31,4	18,3	0	18,3	31,4	0	31,4	18,3	0	18,3	31,4	6,29
ω_4	с ⁻¹	17,7	31,4	0	31,4	18,3	0	18,3	31,4	0	31,4	18,3	0	28,57
ω_6	с ⁻¹	17,7	0	17,7	31,4	0	31,4	18,3	0	18,3	31,4	0	31,4	34,29

л
л
л

л
л
л

2.4. Побудова планів прискорень для нулевого та заданого положень механізму.

Для заданого положення ($\varphi = 100^\circ$)

Прискорення точок А, В, і С за формулою

$$a_A = a_B = a_C = \omega_1^2 \cdot l_1 = 125,6^2 \cdot 0,05 = 788,8 \frac{M}{c^2}$$

Масштабний коефіцієнт плану прискорень

$$\mu_a = \frac{a_A}{P_a a} = \frac{788,8}{78,88} = 10 \frac{M}{c^2 \cdot мм};$$

Прискорення точок Д, F, E за формулами

$$\frac{\overline{a}_D}{\text{Пу} - y} = \frac{\overline{a}_A}{\oplus} + \frac{\overline{a}_{DA}^n}{\text{ПДА}} + \frac{\overline{a}_{DA}^\tau}{\perp \text{ДА}};$$

$$\frac{\overline{a}_F}{\text{Пу} - y} = \frac{\overline{a}_B}{\oplus} + \frac{\overline{a}_{FB}^n}{\text{ПFB}} + \frac{\overline{a}_{FB}^\tau}{\perp \text{FB}};$$

$$\frac{\overline{a}_E}{\text{Пу} - y} = \frac{\overline{a}_C}{\oplus} + \frac{\overline{a}_{EC}^n}{\text{ПЕС}} + \frac{\overline{a}_{EC}^\tau}{\perp \text{ЕС}}.$$

Розраховуємо значення доцентрових прискорень, та їх відрізки на плані

$$a_{DA}^\Pi = \omega_{DA}^2 \cdot l_2 = 6,29^2 \cdot 0,175 = 6,9 \frac{M}{c^2};$$

$$a_{FB}^\Pi = \omega_{FB}^2 \cdot l_4 = 34,29^2 \cdot 0,175 = 205,8 \frac{M}{c^2};$$

$$a_{EC}^\Pi = \omega_{EC}^2 \cdot l_6 = 28,57^2 \cdot 0,175 = 142,8 \frac{M}{c^2};$$

$$a_{DA}^\Pi = \frac{a_{DA}^\Pi}{\mu_a} = \frac{6,9}{10} = 0,69 \text{ мм};$$

$$a_{FB}^\Pi = \frac{a_{FB}^\Pi}{\mu_a} = \frac{205,8}{10} = 20,6 \text{ мм};$$

$$a_{EC}^\Pi = \frac{a_{EC}^\Pi}{\mu_a} = \frac{142,8}{10} = 14,3 \text{ мм}.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення прискорень занесу до таблиці 2.4.

За допомогою масштабного коефіцієнту накреслю плани прискорень.

Таблиця 2.4. – Прискорення точок механізму

φ	a_D	a_F	a_E	a_{S2}	a_{S4}	a_{S6}
град	м/с ²	м/с ²	м/с ²	м/с ²	м/с ²	м/с ²
0	1015	490	490	879	600	600
100	360	560	915	515	660	820

φ	a_{DA}^T	a_{FB}^T	a_{EC}^T	ε_{DA}	ε_{FB}	ε_{EC}
град	м/с ²	м/с ²	м/с ²	с ⁻²	с ⁻²	с ⁻²
0	0	680	680	0	388,6	388,6
100	810	475	250	4628,6	2714,3	1428,6

Кутові прискорення за визначаємо за формулами

$$\varepsilon_{DA} = \frac{a_{DA}^T}{l_2} = \frac{810}{0.175} = 4628,6c^{-2};$$

$$\varepsilon_{FB} = \frac{a_{FB}^T}{l_4} = \frac{475}{0.175} = 2714,3c^{-2};$$

$$\varepsilon_{EC} = \frac{a_{EC}^T}{l_6} = \frac{250}{0.175} = 1428,6c^{-2}.$$

2.5. Силовий аналіз методом планів сил.

Група II₂ (6 - 7)

Сили ваги $G_i = m_i * g$

$$G_6 = m_6 * g = 4,2 * 10 = 42 \text{ Н}$$

$$G_7 = m_7 * g = 3,2 * 10 = 32 \text{ Н}$$

Сили інерції ланок

$$P_{и6} = m_6 * a_{s6} = 4,2 * 820 = 3444 \text{ Н}$$

$$P_{и7} = m_7 * a_F = 3,2 * 560 = 1792 \text{ Н}$$

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.

Момент інерції ланки 6

$$M_{и6} = \varepsilon_{FB} \cdot I_{S6} = 2714,3 \cdot 0,02 = 54,3 \text{ Нм}$$

$$F_{и6}' = F_{и6}'' = M_{и6} / \ell_6 = 54,3 / 0,175 = 310,2 \text{ Н}$$

Масштабний коефіцієнт тиску на індикаторної діаграми

$$\mu_p = \frac{P_{\max}}{\bar{P}_{\max}} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{100} = 25000 \frac{\text{Па}}{\text{мм}}$$

Відрізки якими зображуються сили на діаграмі дорівнюють

$$P_F = 0 \text{ мм}; \quad P_D = 7 \text{ мм}; \quad P_E = 40 \text{ мм}.$$

Сила тиску у циліндрі F

$$P_F = \bar{P}_F \cdot \mu_p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0 \cdot 25000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,078^2}{4} = 0 \text{ Н}.$$

Рівняння · Даламбера

$$\frac{\bar{P}_F}{0} + \frac{\bar{G}_7}{1,6} + \frac{\bar{P}_{u7}}{146,4} + \frac{\bar{R}_{07}}{\text{// } x-x} + \frac{\bar{P}_{u6}}{172,2} + \frac{\bar{G}_6}{2,1} + \frac{R_{1-6}^n}{\text{// } BF} + \frac{R_{1-6}^T}{38,6} = 0;$$

$$\sum M(F) = 0;$$

$$R_{1-6}^T \cdot FB - F_{u6}'' \cdot FB - P_{u6} \cdot \bar{h}_6 + G_6 \cdot h_7 = 0;$$

$$R_{1-6}^T = (F_{u6}'' \cdot FB + P_{u6} \cdot \bar{h}_6 - G_6 \cdot h_7) / FB = \\ = (3444 \cdot 31 + 163,6 \cdot 175 - 32 \cdot 10) / 175 = 771,6 \text{ Н}.$$

Будуємо план сил прийнявши масштабний коефіцієнт

$$\mu_{P_{6-7}} = \frac{P_{u6}}{P_{и6}} = \frac{3444}{172,2} = 20 \text{ Н / мм}.$$

За планом сил визначаємо

$$R_{1-6} = R_{1-6} \cdot \mu_{P_{7-6}} = 79 \cdot 20 = 1580 \text{ Н}$$

$$R_{0-7} = R_{0-7} \cdot \mu_{P_{7-6}} = 3,5 \cdot 20 = 70 \text{ Н}$$

Розглянемо поршень F і визначимо реакцію R₇₋₆

Рівняння · Даламбера

$$\frac{\bar{P}_F}{0} + \frac{\bar{G}_7}{1,6} + \frac{\bar{P}_{u7}}{146,4} + \frac{\bar{R}_{07}}{3,5} + \frac{R_{1-6}}{79} + R_{7-6} = 0;$$

За планом сил визначаємо

$$R_{7-6} = R_{7-6} * \mu_{p7-6} = 96 * 20 = 1920 \text{ Н/}$$

Група II₂ (5 - 4)

Сили ваги $G_i = m_i * g$

$$G_4 = m_4 * g = 4,2 * 10 = 42 \text{ Н}$$

$$G_5 = m_5 * g = 3,2 * 10 = 32 \text{ Н}$$

Сили інерції ланок

$$P_{и4} = m_4 * a_{s4} = 4,2 * 660 = 2772 \text{ Н}$$

$$P_{и5} = m_5 * a_E = 3,2 * 560 = 1792 \text{ Н}$$

Момент інерції ланки 4

$$M_{и4} = \varepsilon_{EC} * I_{s4} = 1428,6 * 0,02 = 28,6 \text{ Нм}$$

$$F_{и4}' = F_{и4}'' = M_{и4} / \ell_4 = 28,6 / 0,175 = 163,3 \text{ Н}$$

Сила тиску у циліндрі E

$$P_E = \bar{P}_E * \mu_p * \frac{\pi * d^2}{4} = 40 * 25000 * \frac{3.14 * 0.078^2}{4} = 4776 \text{ Н.}$$

Рівняння · Даламбера

$$\frac{\bar{P}_E}{238,8} + \frac{\bar{G}_4}{1,6} + \frac{\bar{P}_{u4}}{138,6} + \frac{\bar{R}_{05}}{\text{// } x-x} + \frac{\bar{P}_{u5}}{89,6} + \frac{\bar{G}_5}{2,1} + \frac{R_{1-4}^n}{\text{// } EC} + \frac{R_{1-4}^T}{37,5} = 0;$$

$$\sum M(E) = 0;$$

$$R_{1-4}^T * CE - F_{u4}'' * CE - P_{u4} * \bar{h}_4 + G_4 * h_3 = 0;$$

$$R_{1-4}^T = (F_{u4}'' * CE + P_{u4} * \bar{h}_4 - G_4 * h_3) / CE =$$

$$= (2772 * 28 + 310.2 * 175 - 42 * 19) / 175 = 749.2 \text{ Н.}$$

						Арк.
	Будуємо план сил прийнявши масштабний коефіцієнт					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\mu_{P5-4} = \frac{P_{u4}}{P_{И4}} = \frac{2772}{138.6} = 20 \text{ Н / мм.}$$

За планом сил визначаємо

$$R_{1-4} = R_{1-4} * \mu_{P5-4} = 231 * 20 = 4620 \text{ Н}$$

$$R_{0-5} = R_{0-5} * \mu_{P5-4} = 17 * 20 = 340 \text{ Н}$$

Розглянемо поршень Е і визначимо реакцію R_{4-5}

Рівняння · Даламбера

$$\frac{\bar{P}_E}{238,8} + \frac{\bar{G}_5}{1,6} + \frac{\bar{P}_{u5}}{89,6} + \frac{\bar{R}_{05}}{17} + \frac{R_{1-4}}{231} + R_{4-5} = 0;$$

За планом сил визначаємо

$$R_{4-5} = R_{4-5} * \mu_{P5-4} = 92 * 20 = 1840 \text{ Н/}$$

Група $\Pi_2(3 - 2)$

Сили ваги $G_i = m_i * g$

$$G_2 = m_2 * g = 4,2 * 10 = 42 \text{ Н}$$

$$G_3 = m_3 * g = 3,2 * 10 = 32 \text{ Н}$$

Сили інерції ланок

$$P_{И2} = m_2 * a_{s2} = 4,2 * 515 = 2163 \text{ Н}$$

$$P_{И3} = m_3 * a_{д} = 3,2 * 360 = 1152 \text{ Н}$$

Момент інерції ланки 2

$$M_{И2} = \varepsilon_{АД} \cdot I_{S2} = 4628,6 * 0,02 = 92,6 \text{ Нм}$$

$$F_{И2}' = F_{И2}'' = M_{И2} / \ell_2 = 92,6 / 0,175 = 529 \text{ Н}$$

Сила тиску у циліндрі Д

$$P_{д} = \bar{P}_{д} \cdot \mu_{р} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 7 \cdot 25000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,078^2}{4} = 835,8 \text{ Н.}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівняння · Даламбера

$$\frac{\bar{P}_D}{41,8} + \frac{\bar{G}_3}{1,6} + \frac{\bar{P}_{u3}}{57,6} + \frac{\bar{R}_{03}}{\text{// } x-x} + \frac{\bar{P}_{u2}}{108,2} + \frac{\bar{G}_2}{2,1} + \frac{R_{1-2}^n}{\text{// } АД} + \frac{R_{1-2}^T}{73,4} = 0;$$

$$\sum M(D) = 0;$$

$$R_{1-2}^T \cdot АД - F''_{u2} \cdot АД - P_{u2} \cdot \bar{h}_2 + G_2 \cdot h_1 = 0;$$

$$R_{1-2}^T = (F''_{u2} \cdot АД + P_{u2} \cdot \bar{h}_2 - G_2 \cdot h_1) / АД = \\ = (529 \cdot 175 + 2163 \cdot 76,5 - 42 \cdot 29) / 175 = 1467,6 \text{ Н.}$$

Будуємо план сил прийнявши масштабний коефіцієнт

$$\mu_{P_{2-3}} = \frac{P_{u2}}{P_{И2}} = \frac{2163}{108,2} = 20 \text{ Н / мм.}$$

За планом сил визначаємо

$$R_{1-2} = R_{1-2} \cdot \mu_{P_{3-2}} = 194 \cdot 20 = 3880 \text{ Н}$$

$$R_{0-3} = R_{0-3} \cdot \mu_{P_{3-2}} = 25 \cdot 20 = 500 \text{ Н}$$

Розглянемо поршень Д і визначимо реакцію R_{3-2}

Рівняння · Даламбера

$$\frac{\bar{P}_D}{41,8} + \frac{\bar{G}_3}{1,6} + \frac{\bar{P}_{u3}}{57,6} + \frac{\bar{R}_{03}}{25} + \frac{R_{1-2}}{194} + R_{3-2} = 0;$$

За планом сил визначаємо

$$R_{3-2} = R_{3-2} \cdot \mu_{P_{3-2}} = 105 \cdot 20 = 2100 \text{ Н/}$$

Початковий механізм I (0;1)

З початкового механізму знаходимо $R_{ур}$

$$M_{3P} - (R_{2-1} \cdot \bar{h}_7 - R_{4-1} \cdot \bar{h}_8 - R_{6-1} \cdot h_9) \cdot \mu_\ell = 0;$$

$$M_{3P} = (R_{2-1} \cdot \bar{h}_7 - R_{4-1} \cdot \bar{h}_8 - R_{6-1} \cdot h_9) \cdot \mu_\ell = \\ = (3880 \cdot 33 - 4620 \cdot 16 - 1580 \cdot 4) \cdot 0.001 = 38.08 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вибираємо масштабний коефіцієнт плану сил початкового механізму

$$\mu_{P_{1-0}} = \frac{R_{4-1}}{R_{4-1}} = \frac{4620}{46.2} = 100H / мм.$$

З плану сил початкового механізму визначаємо

$$R_{0-1} = R_{0-1} * \mu_{P_{1-0}} = 58 * 100 = 5800 Н.$$

Значення реакцій представляю у вигляді таблиці 2.5

Таблиця 2.5. Значення реакцій

R ₁₋₂	R ₁₋₄	R ₁₋₆	R ₀₋₃	R ₀₋₅	R ₀₋₇	R ₇₋₆	R ₄₋₅	R ₂₋₃	R ₀₋₁
3880	4620	1580	500	340	700	1920	1840	2100	5800

2.6. Метод професора М.Є. Жуковського.

На повернутий на 90° план швидкостей накладаємо сили діючи на ланки механізму. Складаємо суму моментів сил відносно полюсу плану .

$$\sum M(P_V) = 0;$$

$$M_{3P}^{\mathcal{J}} = (P_{H2} \cdot h_{10} + G_2 \cdot h_{11} - P_{H4} \cdot \bar{h}_{14} - G_4 \cdot \bar{h}_{15} + P_{N6} h_{12} - G_6 \cdot h_{13} +$$

$$+ (G_3 + P_D + P_{N3}) * P_V d - (P_F + P_{H5} + G_5) * P_V f -$$

$$- (P_E + G_7 + P_{B7}) * P_V e - F'_{N2} \cdot ad + F'_{B4} \cdot ce - F'_{N6} \cdot fb) * \ell_1 / P_V a =$$

$$(2163 * 16.5 + 42 * 60 - 2772 * 19 - 42 * 35 + 3444 * 16 - 42 * 24 +$$

$$(32 + 835.8 + 1152) * 58.5 - (32 + 1792 - 0) * 30 - (32 + 4776 - 2928) * 28 -$$

$$529 * 11 + 310.2 * 49 - 163.3 * 59) * 0.05 / 62.8 = 38.8 Нм$$

Похибка

$$\Delta = \frac{M_{3P}^{\mathcal{J}} - M_{3P}}{M_{3P}} \cdot 100\% = \left| \frac{38,8 - 38,08}{38,8} \right| \cdot 100\% = 1,8\% < [4\%].$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					